

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

NIPPON ATOM IND GROUP CO LTD

TOSHIBA CORP

COUNTRY

N/A

N/A

APPL-NO: JP58104176

APPL-DATE: June 13, 1983

INT-CL (IPC): H02P007/00, G21C017/00

US-CL-CURRENT: 318/490

ABSTRACT:

PURPOSE: To enable to detect the malfunction of a rotary electric machine in an early period by comparing the sampled pattern obtained by the n-dimensional vector produced by Fourier analysis of the detection signal with the reference pattern and with the vibrating amplitude of the signal, and discriminating the malfunction state.

CONSTITUTION: After the detection signal of a rotary electric machine 1 is analyzed by a Fourier analyzer 6 to calculate a power spectral density or coherence, the sampled pattern of n-dimensional vector is obtained in a sampled pattern collecting unit 6, the frequency value of the sampled pattern is standardized by the rotary frequency, and further standardized by the dispersion of the signal. A comparator 8 compares the distance between the corrected sampled pattern and the reference pattern with the amplitude of the vibration of the rotating frequency in RMS value to detect the malfunction. In this manner, the reliability of the detected result of the

ENT: 318/490

ABSTRACT:

PURPOSE: To enable to detect the malfunction of a rotary electric machine in an early period by comparing the sampled pattern obtained by the n-dimensional vector produced by Fourier analysis of the detection signal with the reference pattern and with the vibrating amplitude of the signal, and discriminating the malfunction state.

CONSTITUTION: After the detection signal of a rotary electric machine 1 is analyzed by a Fourier analyzer 6 to calculate a power spectral density or coherence, the sampled pattern of n-dimensional vector is obtained in a sampled pattern collecting unit 6, the frequency value of the sampled pattern is standardized by the rotary frequency, and further standardized by the dispersion of the signal. A comparator 8 compares the distance between the corrected sampled pattern and the reference pattern with the amplitude of the vibration of the rotating frequency in RMS value to detect the malfunction. In this manner, the reliability of the detected result of the malfunction state can be improved.

COPYRIGHT: (C)1984,JPO&Japi

⑬ 日本国特許庁 (JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報 (A)

昭59—230492

① Int. Cl.³
H 02 P 7/00
G 21 C 17/00

識別記号

庁内整理番号
7189—5H
C 7156—2G

④ 公開 昭和59年(1984)12月25日

発明の数 1
審査請求 未請求

(全 6 頁)

⑭ 回転機器の監視方法

① 特 願 昭58—104176

② 出 願 昭58(1983)6月13日

③ 発 明 者 玉置哲男

川崎市川崎区浮島町4番1号日

本原子力事業株式会社研究所内

① 出 願 人 日本原子力事業株式会社

東京都港区三田三丁目13番12号

① 出 願 人 株式会社東芝

川崎市幸区堀川町72番地

④ 代 理 人 弁理士 猪股祥晃 外1名

明 細 書

1. 発明の名称

回転機器の監視方法

2. 特許請求の範囲

(1) 回転機器からの検出信号を逐次的にフーリエ解析して各周波数分点に対して得られるパワースペクトル密度またはコヒーレンスを求め、さらに該パワースペクトル密度またはコヒーレンスで構成される n 次ベクトルによる標本値を求め、一方正常状態の回転機器の検出信号に基づくパワースペクトル密度またはコヒーレンスで構成される n 次ベクトルによる基準値を保存しており、前記標本値と対応する前記基準値とを比較するために前記周波数値を信号の回転周波数で規格化するとともに信号の分散による標本値と基準値の規格化を行つて、前記標本値による標本パターンと前記基準値による基準パターンとを比較することおよび信号の振幅の実効値による振動振幅をしきい値と比較することによりその比較結果を表示し、回転機器の異常のときは警報を出すようにしたこと

を特徴とする回転機器の監視方法。

(2) 基準値と標本値との間の距離を計算し、この距離を予め与えられたしきい値と比較することにより基準パターンに対する標本パターンを比較して回転機器の異常の有無を表示するようにした特許請求の範囲第1項記載の回転機器の監視方法。

(3) 比較結果の表示は、基準値と標本値との間の距離および信号の振幅の実効値による振動振幅をしきい値と比較した値をトレンド表示するとともに標本パターンの異常か振動のみの異常かを表示するようにした回転機器の監視方法。

3. 発明の詳細な説明

[発明の技術分野]

本発明は、原子力発電プラントに使用される回転機器の異常を早期に検出して、その故障を未然に防止するようにした回転機器の監視方法に関する。

[発明の技術的背景とその問題点]

例えば、大型の液体金属冷却型高速増殖炉発電プラントでは制御棒と冷却材流量を操作して炉出

力／流量比を一定に保つ運転方法が予定されている。また現在稼働中の沸騰水型原子炉の運転は制御棒と炉心流量の両者を制御することにより炉出力の上升、下降等の変更を行なっているが、このように制御棒と炉心流量を制御するには制御機器、就中、ポンプあるいは電動機等の回転機器を用いて制御する方法が採られている。したがって、これ等回転機器に万一、異常が発生すると、原子力発電プラントに重大な影響を与える恐れがあり、また、その稼働率に与える影響も極めて大きいことが予想されるので、ポンプ、電動機等の回転機器を常時監視して、これ等回転機器に何等かの異常が発生すれば、その異常を早期に検出して回転機器の故障を未然に防ぎ、原子力発電プラントを健全に作動させるとともにその稼働率を上げることが必要である。

このような観点から、ポンプあるいは電動機等の回転機器を常時監視する方法として下記の如き先行技術が提案されている。

ポンプあるいは電動機等の回転機器或はこれら

回転機器の駆動軸等に装着された変位計、速度計、加速度計から得られる信号をフーリエ解析により各周波数分点に対して得られたパワースペクトル密度の対数変換値或はコヒーレンスで構成された π 次ベクトル X によつて標本パターンを表現し、正常状態におけるその基準パターンを同構成のベクトル μ で表わすと、距離 D は前記ベクトル X 、 μ の要素 x_i, μ_i 及び正常状態での要素 μ_i の標準偏差 σ_i と要素 μ_i の標準偏差 v_i を用いて、下記(1)式で定義される。

$$D = \sum_{i=1}^n |x_i - \mu_i|^2 \cdot (x_i + \mu_i)^2 / (a\sigma_i^2 + b v_i^2) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 D は $g=1$ 、 $r=\lambda=0$ の場合は市街距離、 $g=r=1$ 、 $\lambda=2$ の場合はMahalanobisの距離と呼ばれるものであり a 、 b は経験的に定める定数である。

そして、前記(1)式において、距離 D が予め与えられたしきい値 α より大きい場合にポンプ或いは電動機等の回転機器は異常状態にあると判定する。しかしながら、ポンプあるいは電動機等の回転機

器の振動は、回転周波数 f_0 の変化に従つて、一致にその振幅が変化することが知られている。また、回転周波数 f_0 に比例した周波数成分の振幅が大きい場合、周波数パターン上にはピークとなつて現われることになる。このため、正常状態においても、現在の回転周波数 f_x が、基準値 μ を学習した時の回転周波数 f_p から値かに変化した場合にも「距離」 D は大きな値を示すこととなり、ポンプ或いは電動機等の回転機器は異常状態にあると判定される恐れがある。

[発明の目的]

本発明は、前記事情に鑑みてなされたもので、その目的は、回転機器の正常状態における回転数の変化により振動の振幅が変化する場合においても正常な変化か否かを判別して、回転機器の異常を早期に検出するようにした回転機器の監視方法を提供することにある。

[発明の概要]

本発明は、前記目的を達成するために、回転機器からの検出信号を逐次的にフーリエ解析して各

周波数分点に対して得られるパワースペクトル密度またはコヒーレンスで構成される π 次ベクトルによる標本値と正常状態におけるその基準値とを比較するために前記周波数値を信号の回転周波数で規格化するとともにさらに信号の分散による標本値と基準値の規格化を行ない、前記標本値による標本パターンと前記基準値による基準パターンとを比較するとともにさらに信号の振幅の実効値を用いて振動振幅を比較することにより回転機器の異常を判定するようにした回転機器の監視方法に関するものである。そして、標本値と基準値との距離が予め定められたしきい値より大きいときに信号のパターンが変化したと判別して回転機器が異常状態にあると表示する。また、信号の振幅の実効値の異常により回転機器が異常状態にあると表示する。

次に、本発明の原理について詳細に説明する。

今、ポンプあるいは電動機等の回転機器より検出した信号 $g(i)$ をサンプリング間隔 Δt でデジタル信号 $Q(L \cdot \Delta t)$ 、 $L=1 \sim 2N$ に変換した後、ウィ

ンドウ $W(l)$ を掛けてフーリエ変換

$$G(k \cdot \Delta f) = \sum_{l=1}^{2N} G(l \cdot \Delta t) \cdot W(l) \cdot e^{j \frac{\pi k(l-1)}{N}}, k=1 \sim N$$
 し、この解析に基づいて各周波数分点に対して得られたパワースペクトル密度 $Y(f)$ の基準値を Y_p 、その標本値を Y_x とし、この基準値 Y_p および標本値 Y_x が第1図に示すような関係にあるとする。そして、この解析の周波数分解能を Δf とし、解析周波数を $\Delta f \sim N \cdot \Delta f$ とすると、信号の分散値 S^2 は下記(2)式で表わされる。

$$S^2 = \sum_{f=1}^N y_f^2 \cdot \Delta f \quad \text{----- (2)}$$

ここで $y_f = Y(f \cdot \Delta f)$ である。

次に、回転周波数 f_0 で周波数 f を規格化することにより、第2図に示すように基準値 Y_p と標本値 Y_x のピーク位置を一致させる。このことは、具体的には次のようにして行なり。すなわち、 $p = \Delta f / f_x$ とし、 $f = f_x$ 及び f または f_x の整数倍周波数を中心とする $f_1 \cdot \Delta f$ 、 $f_2 \cdot \Delta f$ 、... $f_n \cdot \Delta f$ におけるパワースペクトル密度 $Y(f)$ の基準値 Y_p の対数変換値から基準ベクトル μ_p を構成するものとする。

コヒーレンスを用いる場合には Y_{xp} と Y_{pp} から対数変換を行なわずにそのまま構成したベクトル X_p と μ_p との「距離」 D_p をしきい値 α と比較する。このようにすることにより、第3図に例示したように、パターンの形が変化したときにのみ異常が検出される。

一方、振動の振幅の変化が、回転数の変化に伴なつて生じた正常な変化であるか否かは、振幅の突効値 (Root-mean-square 以下 RMS 値という) S 或いは分散値 S^2 を用いて次のようにして判別する。すなわち、原子力発電プラントの稼働の初期或いは各運転サイクルの初期に行なわれる回転機器の試験運転時等において得られる種々の回転周波数 f での振巾の RMS 値 S の変化から第4図に示すような $S = F(f)$ なる関数が定められる。また、パワースペクトル密度 $Y(f)$ の基準値 Y_p を学習するときに、振巾の RMS 値 S の標準偏差 σ が同時に得られる。この標準偏差 σ は回転周波数 f の函数であるので $\sigma^2 = V(f)$ とおくと、これらの関係から下記(6)式の条件が満たされたとき振動の異常

このとき標本ベクトル X_p の第 l 番目の要素 x_l は、 $l \cdot \Delta f$ 及び $(l+1) \cdot \Delta f$ におけるパワースペクトル密度 $Y(f)$ の標本 y_l, y_{l+1} から内挿して得られる下記(8)式の \hat{y}_l の対数変換値とすればよい。

$$\hat{y}_l = y_l + (l' - l) \cdot (y_{l+1} - y_l) \quad \text{----- (8)}$$

ここで、 $l = l'$ の整数部、 $l' = l \cdot f_x / f_p$

このようにして標本値 Y_x 、基準値 Y_p を補正したものを Y_{xp} 、 Y_{pp} とする。

また、 Y がパワースペクトル密度の場合には、第3図に示すように、信号の分散の基準値 S_p^2 および信号の分散の標本値 S_x^2 でそれぞれ前記 Y_{pp} および Y_{xp} を規格化した Y_{pp}/S_p^2 および Y_{xp}/S_x^2 の対数変換値より下記(4)式および(5)式の基準ベクトル μ_s および標本ベクトル X_s 、すなわち

$$\mu_s = \mu_p - l_n(S_p^2) \quad \text{----- (4)}$$

$$X_s = X_p - l_n(S_x^2) \quad \text{----- (5)}$$

を得る。ただし、 $l_n Y_{pp} = \mu_p$ 、 $l_n Y_{xp} = X_p$ とする。

そして、パワースペクトル密度を用いて異常検出を行なう場合には、 X_s と μ_s との「距離」 D_s 、

が発生したと見做す。

$$(S_x - F(f_x))^2 > C \cdot V(f_x) \quad \text{----- (6)}$$

ここで、 C は経験的に定まる定数である。

[発明の実施例]

本発明の一実施例を第5図のブロック図について説明する。

先ず、ポンプまたは電動機等の回転機器 1 或いはこれら回転機器の駆動軸に装設された変位計、速度計、加速度計、回転速度計または回転数計 2 等から得られる信号 $p(x)$ を制御装置 11 からの制御指令により信号入力装置 3 のサンプルホールド回路に定時または随時に入力し、A/D 変換回路によりアナログ入力信号 $p(x)$ はデジタル信号 $G(l \cdot \Delta t)$ に変換された後データ保存装置 4 に格納される。このデジタル信号 $G(l \cdot \Delta t)$ はデータ保存装置 4 より取り出されてフーリエ解析装置 5 により高速フーリエ変換 $G(f) = G(k \cdot \Delta f) = \sum_{l=1}^{2N} G(l \cdot \Delta t) \cdot W(l) \cdot e^{j \frac{\pi k(l-1)}{N}}$ され、各周波数分点に対してパワースペクトル密度或いはコヒーレンス $Y(f)$ が算出される。次段の標本パターン補正装置 6 においては、

データ保存装置4およびフーリエ解析装置5からの入力により回転周波数におけるパワースペクトル密度 $Y(f)$ 或いはコヒーレンス $C(f)$ で構成される n 次ベクトルの標本パターン X がその各要素 x_i で表現される。一方、基準データ保存装置7には正常状態の回転機器の検出信号のフーリエ解析によるパワースペクトル密度 $Y(f)$ 或いはコヒーレンス $C(f)$ で構成される n 次ベクトルの基本パターン μ を表現する各要素 μ_i が保存されている。そしてこの標本パターン補正装置6では、さらに、前記標本パターン X の周波数値を回転周波数 f_0 で規格化 f/f_0 するとともに標本パターン X がパワースペクトル密度で表現されているときは信号の分散 S^2 による規格化 Y/S^2 を行ない補正された標本パターン Y_{xp}/S_x^2 を得る。次段の比較装置においては制御装置11からの指令に基づいて前記補正された標本パターン Y_{xp}/S_x^2 と基準データ保存装置7内に前記と同様に補正されて保存されている基準パターン Y_{pp}/S_p^2 との間の距離を計算する。この距離計算は前記(6)式すなわち、 $\mu_s = \mu_p - L_n(S_p^2)$

および前記(6)式すなわち $X_s = X_p - L_n(S_x^2)$ により行なわれる。そして、前記のようにパワースペクトル密度を用いる場合は基準ベクトル μ_s と標本ベクトル X_s との距離 D_s を、またコヒーレンスを用いる場合は基準値 Y_{pp} と標本値 Y_{xp} からそのまま形成したベクトル μ_p と X_p との距離 D_p を演算する。そして、それぞれの距離 D_s, D_p が、それぞれ定められたしきい値と比較される。このように距離 D_s, D_p としきい値を比較することにより、標本パターンと基準パターンの形を比較するとともにさらに、回転周波数 f_x での振動の振幅のRMS値 S による比較を前記(6)式、すなわち、 $(S_x - F(f_x))^2 > C \cdot V(f_x)$ により行い、次段の出力表示装置9にはこの距離 D_s, D_p および振動の振幅のRMS値 S のトレンド表示をして、振動周波数パターンの形(振動モード)の異常か振幅のみの異常かを表示する。そして、前記距離 D_s, D_p 或いはRMS値 S に異常があれば警報発生装置10により警報が出されることになる。

次に、以上説明した本発明の回転機器の監視方

法の一実施例を第6図のフローチャートについて簡単に説明する。

まず、モニター開始指令が出されると、ポンプ或いは電動機等の回転機器からの検出信号 $g(x)$ を読み取り、次にこの検出信号 $g(x)$ をA/D変換器により入力アナログ信号 $g(x)$ はデジタル信号 $G(x)$ に変換され、保存される。デジタル信号 $G(x)$ は定時または随時に取り出されて高速フーリエ変換 $G(f)$ されパワースペクトル密度或いはコヒーレンス $Y(f)$ が演算される。(以下パワースペクトル密度の場合について説明する。)そして、このパワースペクトル密度 $Y(f)$ で構成される n 次ベクトルによつて標本パターン X を表現する。この標本パターン X の周波数値の回転周波数 f_0 による規格化 f/f_0 を行ない、さらに信号の分散 S^2 による規格化 Y/S^2 を行ない補正された標本パターン Y_{xp}/S_x^2 を得る。この補正された標本パターン Y_{xp}/S_x^2 とこの標本パターンと対応する基準パターン Y_{pp}/S_p^2 とを比較して両パターンの距離 D_s を比較する。一方、回転周波数 f_x での振動の振幅の

RMS値による比較をする。そして距離 D およびRMS値のトレンド表示をして、振動モードの異常か振幅のみの異常かを表示するとともに距離 D 或いはRMS値 S の異常のときは警報が出される。
[発明の効果]

本発明によれば、ポンプあるいは電動機等の回転機器の正常状態における回転数の僅かな変化を異常と誤判定する確率が小さくなり、したがって、異常状態の検出結果の信頼性が向上する。また、回転機器の回転数の変化により振動の振幅が変化する場合にも、正常な変化か否かを判別し、異常な変化の場合にも振動周波数パターンの形(振動モード)が変化したか否かが判るため、プラント運転員の判断に有効な情報を提供することができる。

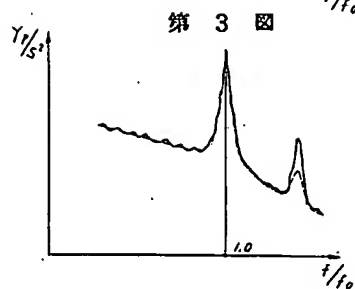
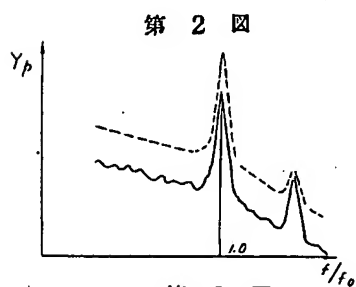
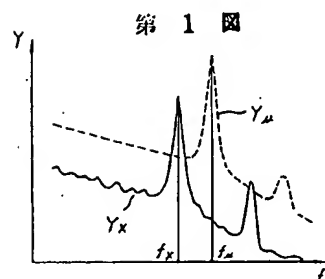
4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の原理を説明するためのパワースペクトル密度 Y と周波数 f との関係を示すグラフ、第2図および第3図は第1図の解析図を回転周波数 f_0 および信号の分散 S^2 による規格化をし

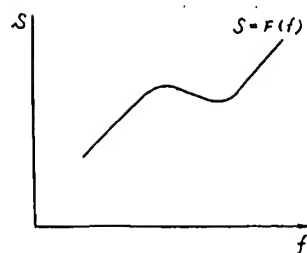
たグラフ、第4図は周波数 f と振巾のRMS値 S との関係を示すグラフ、第5図は本発明の一実施例を示すブロック構成図、第6図は第5図のフローチャートである。

- 1 … 回転機器 2 … 回転数計
- 3 … 信号入力装置 4 … データ保存装置
- 5 … フーリエ解析装置
- 6 … 標本パターン補正装置
- 7 … 基準データ保存装置 8 … 比較装置
- 9 … 出力表示装置 10 … 警報発生装置
- 11 … 制御装置

代理人 井理士 猪 股 祥 晃 (ほか1名)



第4図



第 5 図

